

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000232237 A**

(43) Date of publication of application: **22.08.00**

(51) Int. Cl.

H01L 33/00

(21) Application number: **11348665**

(22) Date of filing: **08.12.99**

(30) Priority: **08.12.98 JP 10348762**

(71) Applicant: **NICHIA CHEM IND LTD**

(72) Inventor:
TANIZAWA KOJI
MITANI TOMOJI
MARUI HIROMITSU

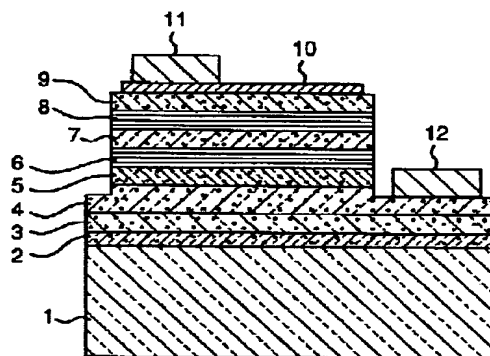
(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride semiconductor light-emitting element, which can further raise its luminous output for enabling the enlargement of the range of the application of the element to various applied products.

SOLUTION: A nitride semiconductor element is formed by a method wherein an N-type multilayer film layer 6 [consists of an $\text{Al}_2\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 \leq z < 1$) layer and an $\text{In}_p\text{Ga}_{1-p}\text{N}$ ($0 < p < 1$) layer] and a P-type multilayer film layer [consists of an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) layer and an $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y < 1$) layer], which have different compositions, are formed in such a way as to hold an active layer 7 between them.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-232237

(P2000-232237A)

(43)公開日 平成12年8月22日(2000.8.22)

(51)Int.Cl.⁷

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

テームト* (参考)

C

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 13 頁)

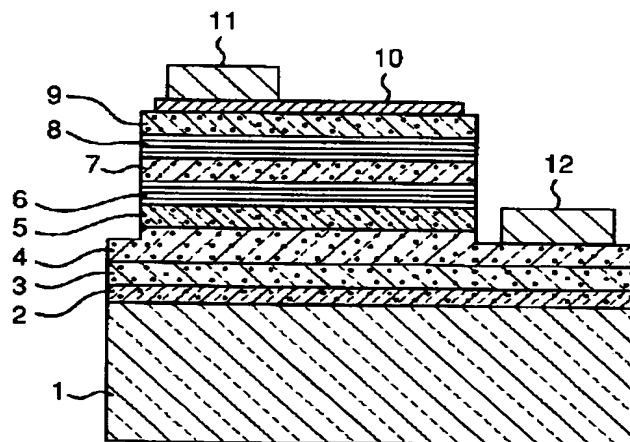
(21)出願番号	特願平11-348665	(71)出願人	000226057 日亜化学工業株式会社 徳島県阿南市上中町岡491番地100
(22)出願日	平成11年12月8日(1999.12.8)	(72)発明者	谷沢 公二 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平10-348762	(72)発明者	三谷 友次 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内
(32)優先日	平成10年12月8日(1998.12.8)	(72)発明者	丸居 宏充 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内
(33)優先権主張国	日本 (J P)	(74)代理人	100074354 弁理士 豊栖 康弘 (外1名)

(54)【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57)【要約】

【課題】 種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とするため、発光出力のさらなる向上が可能となる窒化物半導体発光素子を提供することである。

【解決手段】 活性層7を挟むように、互いに組成の異なるn型多層膜層6 [$Al_2Ga_{1-z}N$ ($0 \leq z < 1$) と $In_pGa_{1-p}N$ ($0 < p < 1$) とからなる] と、p型多層膜層8 [$Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) と $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y < 1$) とからなる。] とを形成してなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型窒化物半導体とp型窒化物半導体との間に、活性層を有する窒化物半導体素子において、n型窒化物半導体にn型多層膜層を、p型窒化物半導体にp型多層膜層をそれぞれ有し、前記n型多層膜層を構成する窒化物半導体の組成と、p型多層膜層を構成する窒化物半導体の組成とが、異なることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 n型窒化物半導体とp型窒化物半導体との間に、活性層を有する窒化物半導体素子において、n型窒化物半導体にn型多層膜層を、p型窒化物半導体にp型多層膜層をそれぞれ有し、前記n型窒化物半導体を構成する窒化物半導体層の層数と、前記p型多層膜層を構成する窒化物半導体層の層数とが、異なることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項3】 n型窒化物半導体とp型窒化物半導体との間に、活性層を有する窒化物半導体素子において、n型窒化物半導体にn型多層膜層を、p型窒化物半導体にp型多層膜層をそれぞれ有し、前記n型多層膜層を構成する窒化物半導体の組成と、前記p型多層膜層を構成する窒化物半導体の組成とが、異なり、且つ、前記n型窒化物半導体を構成する窒化物半導体層の層数と、前記p型多層膜層を構成する窒化物半導体層の層数とが、異なることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記p型多層膜層を構成する窒化物半導体層の層数が、n型多層膜層を構成する窒化物半導体層の層数より少ないことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】 前記p型多層膜層及び／又はn型多層膜層が、変調ドーピングされていることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】 n型窒化物半導体とp型窒化物半導体との間に、活性層を有する窒化物半導体素子において、前記n型窒化物半導体には、n型コンタクト層と超格子構造のn型多層膜層とを有しかつ、前記n型コンタクト層と前記n型多層膜層との間に100オングストローム以上の膜厚を有するアンドープの窒化物半導体層を有しており、

前記p型窒化物半導体には、超格子構造のp型多層膜層を有することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項7】 前記n型多層膜層の組成と前記p型多層膜層の組成とが互いに異なることを特徴とする請求項6記載の窒化物半導体素子。

【請求項8】 n型窒化物半導体とp型窒化物半導体との間に、活性層を有する窒化物半導体素子において、前記n型窒化物半導体には、n型コンタクト層と超格子構造の第1のn型多層膜層とを有しかつ、前記n型コンタクト層と前記第1のn型多層膜層との間に、少なくとも3層構造の第2のn型多層膜層を有し、該第2のn型多層膜層を構成する層は前記第1の多層膜層に近づくに

従って膜厚が薄くなるように調整されており、前記p型窒化物半導体には、超格子構造のp型多層膜層を有することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項9】 前記第2の多層膜層に、100オングストローム以上の膜厚を有するアンドープの窒化物半導体層を有する請求項8記載の窒化物半導体素子。

【請求項10】 前記n型第1の多層膜層の組成と前記p型多層膜層の組成とが互いに異なることを特徴とする請求項8又は9記載の窒化物半導体素子。

10 【請求項11】 前記第2のn型多層膜層は、アンドープの層、Siドーピングの層、アンドープの層を順に有する請求項8～10のうちのいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項12】 n型窒化物半導体とp型窒化物半導体との間に、活性層を有する窒化物半導体素子において、前記n型窒化物半導体には超格子構造のn型多層膜層を有し、

前記p型窒化物半導体には、超格子構造のp型多層膜層を有し、

20 前記n型多層膜層の組成と前記p型多層膜層の組成とが互いに異なりかつ、前記n型多層膜層の膜厚が前記p型多層膜層の膜厚よりも厚いことを特徴とする窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)、太陽電池、光センサー等の発光素子、受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに使用される窒化物半導体(例えば、 $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ 、 $0 \leq a$ 、 $0 \leq b$ 、 $a+b \leq 1$)素子に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は高輝度青色LED、純緑色LEDの材料として、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。これらのLED素子は基本的に、サファイア基板上にGa₂Nよりなるバッファ層と、SiドーピングGa₂Nよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造(SQW: Single-Quantum-Well)のInGa₂N、あるいはInGa₂Nを有する多重量子井戸構造(MQW: Multi-Quantum-Well)の活性層と、MgドーピングAlGa₂Nよりなるp側クラッド層と、MgドーピングGa₂Nよりなるp側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20mAにおいて、発光波長450nmの青色LEDで5mW、外部量子効率9.1%、520nmの緑色LEDで3mW、外部量子効率6.3%と非常に優れた特性を示す。量子井戸構造を有する活性層は、その構造の特性から、発光出力の向上が期待される。

【0003】

50 【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従

【 0 0 0 4 】

【0005】つまり、本発明の第1～第3の窒化物半導体素子は、上述のように、活性層を挟むようにn型とp型とで組成及び／又は層数が異なるn型多層膜層とp型多層膜層とを形成し、素子構造の活性層付近の層構成を特定することにより、発光出力を向上させ、Vfを低くでき、静電耐圧の良好な窒化物半導体素子を提供するこ

【0006】量子井戸構造の活性層は、発光出力を向上させる可能性を秘めているが、従来の素子では、量子井戸構造の可能性を十分満足できる程度に発揮させることが困難であった。

20 【0008】本発明において、多層膜層とは、少なくとも組成の異なる2種類以上の単一の窒化物半導体層を少なくとも2層以上積層させてなるものであり、隣接する単一の窒化物半導体層同士で組成が異なるように、単一の窒化物半導体層を複数層積層してなる。また、本発明において、n型多層膜層を構成する窒化物半導体の組成と、p型多層膜層を構成する窒化物半導体の組成とは異なるとは、それぞれの多層膜層を構成する単一の窒化物半導体の組成が同一であってもよいが、単一の窒化物半導体層を複数積層してなる多層膜層の全体の層構成（全体

30 全体の組成）が一致しないことを意味する。つまり、n型多層膜層とp型多層膜層とは、それらを構成する組成が、部分一致を有していてもよいが、完全一致しないように窒化物半導体層の組成が調整される。本発明において、積層された層数が異なるとは、p型又はn型のいずれか一方が、多層膜層を構成する窒化物半導体が少なくとも一層以上多く積層されていればよい。

【0010】更に本発明は、p型多層膜層及び／又はn型多層膜層が、変調ドーピングされていると、発光出力、V_f及び静電耐圧を向上させることができる。また、本発明において、変調ドーピングとは、多層膜層を形成する単一の窒化物半導体層において、隣接する窒化物半導体層同士の不純物濃度が異なることをいい、多層膜層を構成する隣接の一方の窒化物半導体層がアンドープで、他方が

不純物をドーピングされていてもよく、また、隣接する両方の窒化物半導体層に不純物がドーピングされている場合に、隣接する窒化物半導体同士で不純物濃度が異なっているもよい。

【0011】また、本発明において、n型多層膜層6とp型多層膜層8との組成が異なる場合、n型多層膜層6を構成する層数とp型多層膜層8を構成する層数とは、同一でも異なってもよく、好ましくは層数が異なり、より好ましくはp型多層膜層の層数がn型多層膜層の層数より少ないことが、発光出力、V_f、静電耐圧の点で好ましい。また、本発明において、n型多層膜層とp型多層膜層との層数が異なる場合、n型多層膜層の組成とp型多層膜層の組成とは、同一でも異なってもよく、好ましくは組成が異なることが、上記のような本発明の効果をj得るのに好ましい。また、本発明において、n型多層膜層とp型多層膜層との層数が異なる場合、n型とp型との層数の組み合わせは特に限定されず、p型多層膜層8とn型多層膜層6の層数が異なっていれば、いずれの組み合わせでもよく、好ましくは、上記したように、p型多層膜層の層数がn型多層膜層の層数より少ないようにすることが、上記本発明の効果をj得るのに好ましい。

【0012】また、本発明に係る窒化物半導体素子は、以下のように構成しても上述した本発明の目的を達成することができる。すなわち、本発明に係る第4の窒化物半導体素子は、n型窒化物半導体とp型窒化物半導体との間に、活性層を有する窒化物半導体素子において、前記n型窒化物半導体には、n型コンタクト層と超格子構造のn型多層膜層とを有しかつ、前記n型コンタクト層と前記n型多層膜層との間に100オングストローム以上の膜厚を有するアンドープの窒化物半導体層を有しており、前記p型窒化物半導体には、超格子構造のp型多層膜層を有することを特徴とする。このように、この第4の窒化物半導体素子は、n側の領域である前記n型窒化物半導体において超格子構造のn型多層膜層を有し、p側の領域である前記p型窒化物半導体において超格子構造のp型多層膜層を有しかつ、前記n型コンタクト層と前記n型多層膜層との間に100オングストローム以上の膜厚を有するアンドープの窒化物半導体層を備えることにより、アンドープの窒化物半導体層を備えていない素子に比較してさらに、静電耐圧を良くすることができる。

【0013】また、本発明に係る第4の窒化物半導体素子においては、前記n型多層膜層の組成と前記p型多層膜層の組成とが互いに異なるようにしてもよい。

【0014】さらに、本発明に係る第5の窒化物半導体素子は、n型窒化物半導体とp型窒化物半導体との間に、活性層を有する窒化物半導体素子において、前記n型窒化物半導体には、n型コンタクト層と超格子構造の第1のn型多層膜層とを有しかつ、前記n型コンタクト層と前記第1のn型多層膜層との間に、少なくとも3層

構造の第2のn型多層膜層を有し、該第2のn型多層膜層を構成する層は前記第1の多層膜層に近づくに従って膜厚が薄くなるように調整されており、前記p型窒化物半導体には、超格子構造のp型多層膜層を有することを特徴とする。以上のように構成することにより、本発明に係る第5の窒化物半導体素子は、従来例に比較して静電耐圧を向上させることができる。

【0015】また、本発明に係る第5の窒化物半導体素子において、前記第2の多層膜層に100オングストローム以上の膜厚を有するアンドープの窒化物半導体層を有することが好ましく、これによりより静電耐圧を向上させることができる。

【0016】また、本発明に係る第5の窒化物半導体素子において、前記n型第1の多層膜層の組成と前記p型多層膜層の組成とが互いに異なるようにしてもよい。

【0017】さらに、本発明に係る第5の窒化物半導体素子において、前記第2のn型多層膜層は、アンドープの層、Siドーピングの層、アンドープの層を順に有するように構成することができる。

【0018】また、本発明に係る第6の窒化物半導体素子は、n型窒化物半導体とp型窒化物半導体との間に、活性層を有する窒化物半導体素子において、前記n型窒化物半導体には超格子構造のn型多層膜層を有し、前記p型窒化物半導体には、超格子構造のp型多層膜層を有し、前記n型多層膜層の組成と前記p型多層膜層の組成とが互いに異なりかつ、前記n型多層膜層の膜厚が前記p型多層膜層の膜厚よりも厚いことを特徴とする。以上のように構成された第6の窒化物半導体素子は、閾値又は順方向電圧を低くすることができる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下に、図1を用いて本発明のn型多層膜層及びp型多層膜層を有する窒化物半導体についてさらに詳細に説明する。図1は、本発明の一実施の形態である窒化物半導体素子(LED素子)の構造を示す模式的断面図を示す。しかし、本発明はこれに限定されない。図1には、サファイア基板1の上に、Ga_{0.4}N_{0.6}よりなるバッファ層2、アンドープGa_{0.4}N層3、SiドーピングGa_{0.4}Nよりなるn型コンタクト層4、アンドープGa_{0.4}N層5、n型多層膜層6、InGa_{0.4}N/Ga_{0.4}Nよりなる多重量子井戸構造の活性層7、p型多層膜層8、MgドーピングGa_{0.4}Nよりなるp型コンタクト層9が順に積層された構造を有する窒化物半導体素子が示されている。上記n型多層膜層6及びp型多層膜層8を構成するそれぞれの窒化物半導体の組成、及び又は層数がn型とp型とで異なる。ここで、上記図1には、n型窒化物半導体としてn型多層膜層を1層及びp型窒化物半導体としてp型多層膜層を1層設けているが、n型窒化物半導体及びp型窒化物半導体にそれぞれ多層膜層を2層以上設けてもよい。例えば、上記アンドープGa_{0.4}N層5を、基板側からアンドープの窒化物半導体からなる下層、n型不純物

がドーピングされている窒化物半導体からなる中間層、及びアンドーピングの窒化物半導体からなる下層を順に積層してなる多層膜層とすると、発光出力、V_f及び静電耐圧をより良好とすることが好ましい。このようにn型窒化物半導体に2種のn型多層膜層を有する場合、2種のn型多層膜層のいずれかが、p型多層膜層の層数より多ければよい。

【0020】まず、多層膜層について説明する。本発明において、n型多層膜層6は、組成の異なる少なくとも2種類以上の窒化物半導体から構成されていればよく、好ましい組成としては、 $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 \leq z < 1$)

〔第1の窒化物半導体層〕と $In_pGa_{1-p}N$ ($0 < p < 1$)〔第2の窒化物半導体層〕との2種類の組成が挙げられる。第1の窒化物半導体層の好ましい組成としては、上記第1の窒化物半導体層を示す化学式のz値が小さいほど結晶性が良くなり、より好ましくはz値が0

〔ゼロ〕を示すGaNである。また、第2の窒化物半導体層の好ましい組成としては、上記第2の窒化物半導体層を示す化学式のp値が0.5以下の $In_pGa_{1-p}N$ 、より好ましくはp値が0.1以下の $In_pGa_{1-p}N$ である。本発明において、第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との好ましい組み合わせとしては、第1の窒化物半導体層がGaNであり、第2の窒化物半導体層がx値0.5以下の $In_xGa_{1-x}N$ である組み合わせが挙げられる。

【0021】また、上記のような組成からなるn型多層膜層6は、第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層をそれぞれ少なくとも1層以上形成し、合計で2層以上又は3層以上、好ましくはそれぞれ少なくとも2層以上積層し、合計で4層以上積層し、好ましくはそれぞれ少なくとも7層以上積層し、合計で14層以上積層する。第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層の積層数の上限は特に限定されないが、例えば500層以下である。500層を超えると、積層する時間がかかり過ぎ操作が煩雑となったり、素子特性がやや低下する傾向がある。

【0022】n型多層膜層6を構成する単一の窒化物半導体層の膜厚は、特に限定されないが、2種類以上の窒化物半導体層の少なくとも1種類の単一の窒化物半導体層の膜厚を、100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、より好ましくは50オングストローム以下とする。このようにn型多層膜層6を構成する単一の窒化物半導体層の膜厚を薄くすることにより、多層膜層が超格子構造となつて、多層膜層の結晶性が良くなるので、出力が向上する傾向にある。

【0023】n型多層膜層6が第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層とから構成される場合、少なくとも一方の膜厚を、100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下とする。第1の窒化物半導体層及び

第2の窒化物半導体層の少なくとも一方が、100オングストローム以下の薄膜層とすると、単一の窒化物半導体層がそれぞれ弾性臨界膜厚以下となり結晶性が良好となる。この結晶性が改善された窒化物半導体層上に更に弾性臨界膜厚以下の窒化物半導体を成長させると、より結晶性が良好となる。このことから第1及び第2の窒化物半導体層の結晶性が積層されるに従って良くなり、結果としてn型多層膜層6全体の結晶性が良くなる。このようにn型多層膜層6の全体の結晶性が良好となることにより、素子の発光出力が向上する。

【0024】第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層の好ましい膜厚としては、両方とも100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下である。n型多層膜層6を構成する第1及び第2の窒化物半導体層の膜厚が両方とも100オングストローム以下とすると、単一の窒化物半導体層の膜厚が弾性臨界膜厚以下となり、厚膜で成長させる場合に比較して結晶性の良い窒化物半導体が成長できる。また、n型多層膜層6の第1及び第2の窒化物半導体層の両方の膜厚を70オングストローム以下にすると、多層膜層が超格子構造となり結晶性が良好となり、この結晶性の良い超格子構造の上に活性層を成長させると、n型多層膜層6がバッファ層のような作用をして、活性層を結晶性よく成長できる。

【0025】n型多層膜層6の総膜厚としては、特に限定されないが、25～10000オングストロームであり、好ましくは25～5000オングストロームであり、より好ましくは25～1000オングストロームである。膜厚がこの範囲であると、結晶性が良く、素子の出力が向上する。

【0026】n型多層膜層6は、形成される位置は特に限定されず、活性層7に接して形成されても、活性層7と離れて形成されてもよく、好ましくはn型多層膜層6が活性層7に接して形成されていることが好ましい。n型多層膜層6が活性層7に接して形成されている場合、活性層7の最初の層である井戸層又は障壁層と接するn型多層膜層6を構成する窒化物半導体層としては、第1の窒化物半導体層でも、第2の窒化物半導体層でも良い。このようにn型多層膜層6を構成する第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との積層順序は、特に限定されない。つまり、第1の窒化物半導体から積層を始め、第1の窒化物半導体で終わっても、第1の窒化物半導体から積層を始め、第2の窒化物半導体で終わっても、第2の窒化物半導体から積層を始め、第1の窒化物半導体で終わっても、また、第2の窒化物半導体から積層を始め、第2の窒化物半導体で終わってもよい。図1では、n型多層膜層6は、活性層7に接して形成されているが、上記したように、n型多層膜層6が活性層7と離れて形成されている場合、n型多層膜層6と活性層7との間に、他のn型窒化物半導体よりなる層が形成され

ていてもよい。

【0027】本発明において、 n 型多層膜層6を構成する単一の窒化物半導体層、例えば第1及び第2の窒化物半導体層は、アンドープでも、 n 型不純物がドーピングされていてもよい。本発明において、アンドープとは、意図的に不純物をドーピングしない状態を指し、例えば隣接する窒化物半導体層から拡散により混入される不純物を含んでいても成長時に不純物をドーピングしないで成長させている場合も本発明ではアンドープという。なお、拡散により混入される不純物は層内において不純物濃度に勾配がついていることが多い。

【0028】 n 型多層膜層6を構成する単一の窒化物半導体層が、第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層からなる場合、第1および第2の窒化物半導体層は両方ともアンドープでも良いし、両方に n 型不純物がドーピングされていても良いし、またいずれか一方に不純物がドーピングされていてもよい。第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層のいずれか一方に n 型不純物をドーピングすること、又は、両方に n 型不純物がドーピングされ隣接する窒化物半導体層同士で濃度が異なることを、変調ドーピングと呼び、変調ドーピングすることにより、出力が向上しやすい傾向にある。また、第1の窒化物半導体層および第2の窒化物半導体層の両方に n 型不純物がドーピングされている場合は、隣接する単一の窒化物半導体層同士で不純物濃度が異なっても同一でもよく、好ましくは異なることが挙げられる。結晶性を良くするためには、アンドープが最も好ましく、次に隣接する一方がアンドープの変調ドーピング、その次に隣接する両方にドーピングする変調ドーピングの順である。また、第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層の両方に n 型不純物がドーピングされている場合、不純物濃度は、いずれの層の濃度が高くてもよい。 n 型不純物をドーピングする場合の不純物濃度は、特に限定されないが、 $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以下、下限としては $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ に調整する。 $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ よりも多いと窒化物半導体層の結晶性が悪くなって、逆に出力が低下する傾向にある。これは変調ドーピングの場合も同様である。本発明において、 n 型不純物としては、 Si 、 Ge 、 Sn 、 S 等のIV族、VI族元素を好ましく選択し、さらに好ましくは Si 、 Sn を用いる。

【0029】次に、 p 型多層膜層8について説明する。本発明において、 p 型多層膜層8は、組成の異なる少なくとも2種類以上の窒化物半導体から構成されていればよく、好ましい組成としては、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) [第3の窒化物半導体層]と $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y < 1$) [第4の窒化物半導体層]との2種類の組成が挙げられる。第3の窒化物半導体層の好ましい組成としては、上記第3の窒化物半導体層を示す化学式の x 値が0.5以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ である。 x が0.5を超えると結晶性が悪くなってクラックが入りやすい傾向に

ある。また、第4の窒化物半導体層の好ましい組成としては、上記第4の窒化物半導体層を示す化学式の y 値が0 [ゼロ]の GaN である。 y 値がゼロであると全体的に結晶性の良い多層膜層が成長でき易くなる傾向がある。本発明において、 n 型多層膜層8を構成する窒化物半導体の好ましい組み合わせとしては、第3の窒化物半導体層が x 値0.5以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ であり、第4の窒化物半導体層が GaN との組み合わせが挙げられる。

【0030】また、上記のような組成からなる p 型多層膜層8は、第3の窒化物半導体層及び第4の窒化物半導体層をそれぞれ少なくとも1層以上形成し、合計で2層以上又は3層以上、好ましくはそれぞれ少なくとも2層以上積層し、合計で4層以上積層する。第3の窒化物半導体層と第4の窒化物半導体層の積層の上限は特に限定されないが、積層時間等の製造工程や素子特性などを考慮すると、例えば100層以下が挙げられる。

【0031】 p 型多層膜層8の総膜厚としては、特に限定されないが、25~10000オングストロームであり、好ましくは25~5000オングストロームであり、より好ましくは25~1000オングストロームである。膜厚がこの範囲であると、結晶性が良く、素子の出力が向上する。また本発明において、 p 型多層膜層8は、上記範囲の膜厚内で比較的膜厚を薄く形成される方が、素子の V_f 、閾値が低下しやすくなる傾向にある。

【0032】また、 n 型多層膜層6の膜厚を p 型多層膜層8より厚くすると、 n 型多層膜層6の膜厚が p 型多層膜層8より薄い場合に比較して V_f を低くすることができる。

【0033】 p 型多層膜層8を構成する単一の窒化物半導体層の膜厚は、特に限定されないが、2種類以上の窒化物半導体層の少なくとも1種類の窒化物半導体層の単一の窒化物半導体層の膜厚を、100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、より好ましくは50オングストローム以下とする。このように p 型多層膜層8を構成する単一の窒化物半導体層の膜厚を薄くすることにより、多層膜層が超格子構造となって、多層膜層の結晶性が良くなるので、 p 型不純物を添加した場合にキャリア濃度が大きく抵抗率の小さい p 層が得られ、素子の V_f やしきい値等が低下し易い傾向がある。これによって、低消費電力で良好な発光出力を得ることができる。

【0034】 p 型多層膜層8が第3の窒化物半導体層と第4の窒化物半導体層とから構成される場合、少なくとも一方の膜厚を、100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下とする。第3の窒化物半導体層及び第4の窒化物半導体層の少なくとも一方が、100オングストローム以下の薄膜層とすると、単一の窒化物半導体層がそれぞれ弾性臨界膜厚以下となり結晶が良好とな

る。この結晶性が改善された窒化物半導体層上に更に弾性臨界膜厚以下の窒化物半導体を成長させると、より結晶性が良好となる。このことから第3及び第4の窒化物半導体層の結晶性が積層されるに従って良くなり、結果として、p型多層膜層8全体の結晶性が良くなる。このようにp型多層膜層8の全体の結晶性が良好となることにより、p型不純物を添加した場合にキャリア濃度が大きく抵抗率の小さいp型層が得られ、素子のV_fやしきい値等が低下し易い傾向にある。これによって、低消費電力で良好な発光出力を得ることができる。

【0035】第3の窒化物半導体層及び第4の窒化物半導体層の好ましい膜厚は、両方とも100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下である。p型多層膜層8を構成する第3及び第4の窒化物半導体層の膜厚が両方とも100オングストローム以下とすると、単一の窒化物半導体層の膜厚が弾性臨界膜厚以下となり、厚膜で成長させる場合に比較して結晶性の良い窒化物半導体が成長できる。また、p型多層膜層8の第3及び第4の窒化物半導体層の両方の膜厚を70オングストローム以下にすると、多層膜層が超格子構造となり結晶性が良好となり、素子のV_fやしきい値等が低下し易くなり、発光出力を向上させるのに好ましい。

【0036】p型多層膜層8は、形成される位置は特に限定されず、活性層7に接して形成されても、活性層7と離れて形成されてもよく、好ましくはp型多層膜層8が活性層7に接して形成されていることが好ましい。p型多層膜層8が活性層7に接して形成されていると発光出力が向上し易くなり好ましい。p型多層膜層8が活性層7に接して形成されている場合、活性層7の最初の層である井戸層又は障壁層と接するp型多層膜層8を構成する窒化物半導体層としては、第3の窒化物半導体層でも、第4の窒化物半導体層でも良い。このようにp型多層膜層8を構成する第3の窒化物半導体層と第4の窒化物半導体層との積層順序は、特に限定されない。つまり、第3の窒化物半導体層から積層を始め、第3の窒化物半導体層で終わっても、第3の窒化物半導体層から積層を始め、第4の窒化物半導体層で終わっても、第4の窒化物半導体層から積層を始め、第3の窒化物半導体層で終わっても、また、第4の窒化物半導体層から積層を始め、第4の窒化物半導体層で終わってもよい。図1では、p型多層膜層8は、活性層7に接して形成されているが、上記したように、p型多層膜層8が活性層7と離れて形成されている場合、p型多層膜層8と活性層7との間に、他のp型窒化物半導体よりなる層が形成されていてもよい。

【0037】また、本発明において、第3の窒化物半導体層及び第4の窒化物半導体層は、両方ともアンドープでも、いずれか一方にp型不純物がドーピングされていてもよく、両方にp型不純物がドーピングされていてもよい。p

型多層膜層8を構成する第3及び第4の窒化物半導体層が、両方ともにアンドープである場合、p型多層膜層8の膜厚を0.1 μ m以下、好ましくは700オングストローム以下、さらに好ましくは500オングストローム以下にする。膜厚が0.1 μ mよりも厚いと、活性層に正孔が注入されにくくなって、発光出力が低下しやすい傾向にある。また、膜厚が、0.1 μ mを超えると、アンドープ層の抵抗値が高くなる傾向にあるからである。また、第3及び第4の窒化物半導体層のいずれか一方に、p型不純物がドーピングされる変調ドーピングをすると、発光出力が向上しやすい傾向にある。また、変調ドーピングするとキャリア濃度の高いp層が得られ易くなり好ましい。また、第3及び第4の窒化物半導体層の両方にp型不純物をドーピングすると一方がアンドープの場合に比べて、更にキャリア濃度が高くなるのでV_fが低下し好ましい。第3及び第4の窒化物半導体層の両方にp型不純物をドーピングする場合、隣接する窒化物半導体層同士の不純物濃度が同一でもよいが、異なること（変調ドーピング）が好ましい。

【0038】本発明において、p型多層膜層8にp型不純物をドーピングする場合、p型不純物としては、Mg、Zn、Cd、Be、Ca等のII族元素を好ましく選択し、好ましくは、Mg、Beを用いる。p型不純物をドーピングする場合、不純物濃度は $1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下に調整する。 $1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ よりも多いと窒化物半導体層の結晶性が悪くなって、発光出力が低下する傾向にある。p型不純物のドーピング量の下限は特に限定されないが、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上である。

【0039】以下に、図1に示されるn型多層膜層6及びp型多層膜層8以外の他の素子構造を形成する各層について説明するが、本発明はこれに限定されない。

【0040】基板1としては、C面、R面又はA面を主面とするサファイア、その他、スピネル（MgAl₂O₄）のような絶縁性の基板の他、SiC（6H、4H、3Cを含む）、Si、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0041】バッファ層2としては、GaAl_{1-d}N（但しdは $0 < d \leq 1$ の範囲である。）からなる窒化物半導体であり、好ましくはAlの割合が小さい組成ほど結晶性の改善が顕著となり、より好ましくはGaNからなるバッファ層2が挙げられる。バッファ層2の膜厚は、0.002～0.5 μ m、好ましくは0.05～0.2 μ m、更に好ましくは0.01～0.02 μ mの範囲に調整する。バッファ層2の膜厚が上記範囲であると、窒化物半導体の結晶モフォロジーが良好となり、バッファ層2上に成長させる窒化物半導体の結晶性が改善される。バッファ層2の成長温度は、200～900℃であり、好ましくは400～800℃の範囲に調整する。成長温度が上記範囲であると良好な多結晶となり、

13

この多結晶が種結晶としてバッファ層 2 上に成長させる窒化物半導体の結晶性を良好にでき好ましい。また、このような低温で成長させるバッファ層 2 は、基板の種類、成長方法等によっては省略してもよい。

【0042】アンドープ GaN 層 3 としては、先に成長させたバッファ層 2 よりも高温、例えば 900℃～1100℃で成長させ、 $\text{In}_f\text{Al}_g\text{Ga}_{1-f-g}\text{N}$ ($0 \leq f$ 、 $0 \leq g$ 、 $f+g \leq 1$) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくは GaN、 g 値が 0.2 以下の $\text{Al}_g\text{Ga}_{1-g}\text{N}$ とすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。また膜厚は特に問うものではなく、バッファ層よりも厚膜で成長させ、通常 0.1 μm 以上の膜厚で成長させる。

【0043】Si ドープ GaN からなる n 型コンタクト層 4 としては、アンドープ GaN 層 3 と同様に、 $\text{In}_f\text{Al}_g\text{Ga}_{1-f-g}\text{N}$ ($0 \leq f$ 、 $0 \leq g$ 、 $f+g \leq 1$) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくは GaN、 g 値が 0.2 以下の $\text{Al}_g\text{Ga}_{1-g}\text{N}$ とすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。膜厚は特に問うものではないが、n 電極を形成する層であるので 1 μm 以上の膜厚で成長させることが望ましい。さらに n 型不純物濃度は窒化物半導体の結晶性を悪くしない程度に高濃度にドーピングすることが望ましく、 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上、 $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 以下の範囲でドーピングすることが望ましい。

【0044】アンドープ GaN 層 5 としては、上記と同様に、GaN に限られず、 $\text{In}_f\text{Al}_g\text{Ga}_{1-f-g}\text{N}$ ($0 \leq f$ 、 $0 \leq g$ 、 $f+g \leq 1$) で構成できる。アンドープ GaN 層 5 は、GaN、 g 値が 0.2 以下の $\text{Al}_g\text{Ga}_{1-g}\text{N}$ 、または f 値が 0.1 以下の $\text{In}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ とすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすいので好ましい。このアンドープ GaN 層を成長させることにより、高濃度で不純物をドーピングした n 型コンタクト層 4 の上に直接次層を成長させるのと異なり、下地の結晶性が良くなるため、次に成長させる n 型多層膜層 6 が成長し易くなり、更に n 型多層膜層上に活性層 7 を成長させると成長しやすく結晶性が良好となり好ましい。このように、アンドープの窒化物半導体層よりなるアンドープ GaN 層 3 の上に、高濃度で n 型不純物をドーピングした窒化物半導体よりなる n 型コンタクト層 4、次にアンドープの窒化物半導体よりなるアンドープ GaN 層 5 を積層し、更に前記 n 型多層膜層 6 を積層した構造とすると、LED 素子にした場合に Vf が低下しやすい傾向にある。なお n 型多層膜層 6 をアンドープにする場合はアンドープ GaN 層 5 を省略することができる。

【0045】また、アンドープ GaN 層 5 を 100 オングストローム以上の膜厚に形成することにより、静電耐圧を向上させることができる。

【0046】また、本発明において、上記アンドープ GaN 層 5 に変えて、以下のアンドープの下層 5 a、n 型

14

不純物ドーピングの中間層 5 b、アンドープの上層 5 c からなる多層膜層 5 a-c としてもよい。多層膜層 5 a-c は、基板側から、アンドープの下層 5 a、n 型不純物ドーピングの中間層 5 b、アンドープの上層 5 c の少なくとも 3 層から構成されている。n 側第 2 多層膜層には上記下層 5 a～上層 5 c 以外のその他の層を有していてもよい。また多層膜層 5 a-c は、活性層と接していても、活性層の間に他の層を有していてもよい。上記下層 5 a～上層 5 c を構成する窒化物半導体としては、 $\text{In}_g\text{Al}_h\text{Ga}_{1-g-h}\text{N}$ ($0 \leq g < 1$ 、 $0 \leq h < 1$) で表される種々の組成の窒化物半導体を用いることができ、好ましくは GaN からなる組成のものが挙げられる。また多層膜層 5 a-c の各層は組成が同一でも異なってもよい。

【0047】多層膜層 5 a-c の膜厚は、特に限定されないが、175～12000 オングストロームであり、好ましくは 1000～10000 オングストロームであり、より好ましくは 2000～6000 オングストロームである。多層膜層 5 a-c の膜厚が上記範囲であると Vf の最適化と静電耐圧の向上の点で好ましい。上記範囲の膜厚を有する第 2 多層膜層 5 の膜厚の調整は、下層 5 a、中間層 5 b、及び上層 5 c の各膜厚を適宜調整して、多層膜層 5 a-c の総膜厚を上記の範囲とすることが好ましい。

【0048】多層膜層 5 a-c を構成する下層 5 a、中間層 5 b 及び上層 5 c の各膜厚は、特に限定されないが、多層膜層 5 a-c 中で積層される位置により素子性能の諸特性に与える影響が異なるため、各層の素子性能に大きく関与する特性に特に注目し、いずれか 2 層の膜厚を固定し、残りの 1 層の膜厚を段階的に変化させて、特性の良好な範囲の膜厚を測定し、更に各層との調整により膜厚の範囲を特定している。多層膜層 5 a-c の各層は、各々静電耐圧に直接影響を及ぼさない場合もあるが、各層を組み合わせて多層膜層 5 a-c とすることにより、全体として種々の素子特性が良好であると共に、特に発光出力及び静電耐圧が著しく良好となる。

【0049】アンドープの下層 5 a の膜厚は、100～10000 オングストローム、好ましくは 500～8000 オングストローム、より好ましくは 1000～5000 オングストロームである。アンドープの下層 5 a は、膜厚を徐々に厚くしていくと静電耐圧が上昇していくが、10000 オングストローム付近で Vf が急上昇し、一方膜厚を薄くしていくと、Vf は低下していくが、静電耐圧の低下が大きくなり、100 オングストローム未満では静電耐圧の低下に伴い歩留まりの低下が大きくなる傾向が見られる。また、上層 5 a は、n 型不純物を含む n 側コンタクト層 4 の結晶性の低下の影響を改善していると考えられるので、結晶性の改善が良好となる程度の膜厚で成長されるのが好ましい。

【0050】n 型不純物ドーピングの中間層 5 b の膜厚は、

50～1000オングストローム、好ましくは100～500オングストローム、より好ましくは200～500（基の記載は、150～400）オングストロームである。この不純物がドーピングされた中間層5bは、キャリア濃度を十分とさせて発光出力に比較的大きく作用する層であり、この層を形成させないと著しく発光出力が低下する傾向がある。膜厚が1000オングストロームを超えると発光出力が大きく低下する傾向がある。一方、中間層5bの膜厚が厚いと静電耐圧は良好であるが、膜厚が50オングストローム未満では静電耐圧の低下が大きくなる傾向がある。

【0051】アンドープの上層5cの膜厚は、25～1000オングストローム、好ましくは25～500オングストローム、より好ましくは25～150オングストロームであり、よりいっそう好ましくは、50～100オングストロームとする。このアンドープの上層5cは、第2多層膜の中で活性層に接してあるいは最も接近して形成され、リーク電流の防止に大きく関与しているが、上層5cの膜厚が25オングストローム未満ではリーク電流が増加する傾向がある。また、上層5cの膜厚が1000オングストロームを超えるとVfが上昇し静電耐圧も低下する傾向がある。

【0052】以上のように、下層5a～上層5cの各膜厚は、上記に示したように、各層の膜厚の変動により影響されやすい素子特性に注目し、更に、下層5a、中間層5b及び上層5cを組み合わせた際に、諸素子特性すべてがほぼ均一に良好となり、特に発光出力及び静電耐圧が良好となるように、更に社内規格を満足できるように種々検討し、上記範囲に各膜厚を規定することにより、良好な発光出力及び商品の信頼性の更なる向上を達成することが可能な静電耐圧を得ることができる。また、第2多層膜層5の各層の膜厚の組み合わせは、発光波長の種類による活性層の組成の変化や、電極、LED素子の形状など種々の条件により、最も良好な効果を得るために適宜調整される。各層の膜厚の組み合わせに伴う性能は、上記範囲の膜厚で適宜組み合わせることにより、従来のものに比べ良好な発光出力及び良好な静電耐圧を得ることができる。

【0053】また、以上の第2多層膜層5において、各層5a～5cの各層の膜厚は、上述した各範囲内で、n型多層膜層6に近づくに従って薄くなるように調整することが好ましく、このようにすると発光出力及びVfを比較的良好な値に保ったまま静電耐圧を向上させることができる。

【0054】上記多層膜層5a～cを構成する各層の組成は、 $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$ ($0 \leq m < 1$, $0 \leq n < 1$) で表される組成であればよく、各層の組成が同一でも異なってもよく、好ましくはIn及びAlの割合が小さい組成であり、より好ましくはGaNからなる層が好ましい。

【0055】上記n型不純物ドーピングの中間層5bのn型不純物のドーピング量は、特に限定されないが、 $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上、好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上の濃度で含有する。n型不純物の上限としては、特に限定されないが、結晶性が悪くなりすぎない程度の限界としては $5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。第2の多層膜層の中間層の不純物濃度が上記範囲であると、発光出力の向上とVfの低下の点で好ましい。n型不純物としてはSi、Ge、Se、S、O等の周期律表第IVB族、第VIB族元素を選択し、好ましくはSi、Ge、Sをn型不純物とする。

【0056】また、上記第2の多層膜層5a～cにおいて、n型多層膜層6との界面に位置する上層5cは、n型多層膜層6の一部の層として機能させることができる。

【0057】次に、活性層7としては、少なくともInを含んでなる窒化物半導体、好ましくは $In_jGa_{1-j}N$ ($0 \leq j < 1$) を含んでなる井戸層を有する単一量子井戸構造、又は多重量子井戸構造のものが挙げられる。活性層7の積層順は、井戸層から積層して井戸層で終わってもよく、井戸層から積層して障壁層で終わってもよく、また、障壁層から積層して井戸層で終わっても良く積層順は特に問わない。井戸層の膜厚としては100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、さらに好ましくは50オングストローム以下に調整する。100オングストロームよりも厚いと、出力が向上しにくい傾向にある。一方、障壁層の厚さは300オングストローム以下、好ましくは250オングストローム以下、最も好ましくは200オングストローム以下に調整する。

【0058】次に、MgドーピングGaNからなるp型コンタクト層9としては、上記と同様に $In_fAl_gGa_{1-f-g}N$ ($0 \leq f$, $0 \leq g$, $f+g \leq 1$) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGaNとすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすく、またp電極材料と好ましいオーミック接触が得られやすい。

【0059】また、本発明において用いられるp電極及びn電極は、特に限定されず、従来知られている電極等を用いることができ、例えば実施例に記載の電極が挙げられる。

【0060】以上の実施の形態の窒化物半導体素子は、n型多層膜層6とp型多層膜層8とを備えているので、発光出力及び静電耐圧を向上させることができ、かつVfを低くすることができる。そして、以上の実施の形態の窒化物半導体素子では、n型多層膜層6とp型多層膜層8の組成又は層数を異ならせることによりさらに発光出力及び静電耐圧を向上させることができ、Vfを低くすることができる。

【0061】さらに、本実施の形態の窒化物半導体素子

では、n型多層膜層6及びp型多層膜層8に加え、1000オングストローム以上の膜厚のアンドープGaN層5を備えることにより、より静電耐圧を向上させることができる。またさらに、本実施の形態の窒化物半導体素子では、アンドープGaN層5に代えて第2の多層膜層を形成し、かつその第2の多層膜層を構成する下層5a、中間層5b、上層5bの膜厚をn型多層膜層6に近づくに従って薄くなるように調整することにより、よりいっそう静電耐圧を向上させることができる。

【0062】以上の実施の形態の窒化物半導体素子では、アンドープGaN層5又は第2の多層膜層をn型多層膜層6と接するように形成した例を示したが、アンドープGaN層5又は第2の多層膜層とn型多層膜層6とは離れて形成されていてもよい。すなわち、本発明では、少なくともn型コンタクト層4とn型多層膜層6との間に、アンドープGaN層5又は第2の多層膜層を形成するようにすればよい。また、本発明では第2の多層膜層を3層以上の層で構成してもよい。さらに、第2の多層膜層とn型多層膜層6とを接するように形成する場合、第2の多層膜層の上層5cがn型多層膜層6の最も下の層を兼ねるようにしてもよい。

【0063】

【実施例】以下に、本発明に係る実施例を示す。しかし、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

【0064】【実施例1】図1を元に実施例1について説明する。

(基板1) サファイア(C面)よりなる基板1をMOVPEの反応容器内にセットし、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。

【0065】(バッファ層2) 続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、基板1上にGaNよりなるバッファ層2を約200オングストロームの膜厚で成長させる。なおこの低温で成長させる第1のバッファ層2は基板の種類、成長方法等によっては省略できる。

【0066】(アンドープGaN層3) バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層3を1μmの膜厚で成長させる。

【0067】(n型コンタクト層4) 続いて1050℃で、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $3 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるn型コンタクト層を3μmの膜厚で成長させる。

【0068】(アンドープGaN層5) 次にシランガスのみを止め、1050℃で同様にしてアンドープGaN層5を100オングストロームの膜厚で成長させる。

【0069】(n型多層膜層6) 次に、温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープIn_{0.03}Ga_{0.97}Nよりなる第2の窒化物半導体層を25オングストローム成長させ、続いて温度を上昇させ、その上にアンドープGaNよりなる第1の窒化物半導体層を25オングストローム成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第2+第1の順で交互に10層ずつ積層した超格子構造よりなるn型多層膜を500オングストロームの膜厚で成長させる。

10 【0070】(活性層7) 次に、アンドープGaNよりなる障壁層を200オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.4}Ga_{0.6}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を5層、井戸層4層交互に積層して、総膜厚1120オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。

20 【0071】(p型多層膜層8) 次に、TMG、TMA、アンモニア、Cp2Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる第3の窒化物半導体層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いてCp2Mg、TMAを止めアンドープGaNよりなる第4の窒化物半導体層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第3+第4の順で交互に4層ずつ積層した超格子よりなるp型多層膜層8を200オングストロームの膜厚で成長させる。

30 【0072】(p型コンタクト層9) 続いて1050℃で、TMG、アンモニア、Cp2Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp型コンタクト層8を700オングストロームの膜厚で成長させる。

【0073】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

40 【0074】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp型コンタクト層9の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE(反応性イオンエッチング)装置でp型コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すようにn型コンタクト層4の表面を露出させる。

50 【0075】エッチング後、最上層にあるp型コンタクト層のほぼ全面に膜厚200オングストロームのNiとAuを含む透光性のp電極10と、そのp電極10の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極11を0.5μmの膜厚で形成する。一方、エッチングにより露出させたn型コンタクト層4の表面にはWとAlを含むn電極12を形成してLED素子とした。

【0076】このLED素子は順方向電圧20mAにおいて、520nmの純緑色発光を示し、Vfは3.5Vしかなく、従来の多重量子井戸構造のLED素子に比較して、Vfで0.5V近く低下し、発光出力は2倍以上に向上した。そのため、10mAで従来のLED素子とほぼ同等の特性を有するLEDが得られた。更に得られた素子は、静電耐圧が従来の素子に比べて約1.2倍以上良好となる。

【0077】なお、従来のLED素子の構成は、GaNよりなる第1のバッファ層の上に、アンドープGaNよりなる第2のバッファ層、SiドープGaNよりなるn型コンタクト層、実施例1と同一の多重量子井戸構造よりなる活性層、単一のMgドープAl_{0.1}Ga_{0.9}N層、MgドープGaNからなるp型コンタクト層を順に積層したものである。

【0078】[実施例2] 実施例1において、n型多層膜層6を成長する際に、第1の窒化物半導体層のみを、Siを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNとして成長させる他は同様にして、LED素子を作製した。得られたLED素子は、実施例1とほぼ同等の良好な素子特性を有している。

【0079】[実施例3] 実施例1において、n型多層膜層6を成長する際に、第2の窒化物半導体層をSiを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.03}Ga_{0.97}N層とし、第1の窒化物半導体層を、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNとする他は同様にしてLED素子を製造した。得られたLED素子は、20mAにおいてVfは3.4V、出力は従来のものに比較して、1.5倍以上と優れた特性を示した。また静電耐圧は、実施例1と同様に良好である。

【0080】[実施例4] 実施例1において、p型多層膜層8を成長する際に、第4の窒化物半導体層にMgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaN層を成長させる他は同様にしてLED素子を作製したところ、実施例1とほぼ同等の特性を有するLED素子が得られた。

【0081】[実施例5] 実施例1において、p型多層膜層8を成長する際に、アンドープAl_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる第3の窒化物半導体層を25オングストロームと、アンドープGaNよりなる第4の窒化物半導体層を25オングストロームとでそれぞれ2層ずつ交互に積層して総膜厚100オングストロームとする他は同様にしてLED素子を作製したところ、実施例1とほぼ同等の特性を有するLED素子が得られた。

【0082】[実施例6] 実施例1において、アンドープGaN層5に変えて多層膜総5a-cを、さらに、下記各層を以下のように変更する他は同様にして、LED素子を製造する。

【0083】(n側コンタクト層4) 続いて1050℃で、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $6 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドー

プしたGaNよりなるn側コンタクト層4を2.25μmの膜厚で成長させる。

【0084】(多層膜層5a-c) 次にシランガスのみを止め、1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaNからなる下層5aを2000オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加しSiを $6 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNからなる中間層5bを300オングストロームの膜厚で成長させ、更に続いてシランガスのみを止め、同温度にてアンドープGaNからなる上層5cを50オングストロームの膜厚で成長させ、3層からなる総膜厚2350オングストロームの第2多層膜層5を成長させる。

【0085】(n型多層膜層6) 次に、同様の温度で、アンドープGaNよりなる第1の窒化物半導体層を40オングストローム成長させ、次に温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープIn_{0.02}Ga_{0.98}Nよりなる第1の窒化物半導体層を20オングストローム成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第1+第2の順で交互に10層ずつ積層させ、最後にGaNよりなる第1の窒化物半導体層を40オングストローム成長させた超格子構造の多層膜よりなるn型多層膜層6を640オングストロームの膜厚で成長させる。

【0086】(p型多層膜層8) 次に、温度1050℃でTMG、TMA、アンモニア、Cp2Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第3の窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニア、Cp2Mgを用いMgを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.02}Ga_{0.98}Nよりなる第4の窒化物半導体層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第3+第4の順で交互に5層ずつ積層し、最後に第3の窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させた超格子構造の多層膜よりなるp型多層膜層8を365オングストロームの膜厚で成長させる。

【0087】得られたLED素子は、実施例1とほぼ同様に良好な発光出力及びVfを示し、更に、LED素子のn層及びp層の各電極より逆方向に徐々に電圧を加え静電耐圧を測定したところ、実施例1に記載の従来の素子に比べて1.5倍以上となり、実施例1より静電耐圧は良好な結果が得られた。

【0088】[実施例7] 実施例6においてアンドープGaNからなる下層5aを形成しない他は、実施例6と同様にしてLED素子を作製した。このようにして得られた、LED素子は実施例1とほぼ同様の発光出力とVfを示し、静電耐圧は従来例に比較すると高いが、実施例1及び実施例6に比較すると低いものであった。

【0089】以上のように、本実施例7のLED素子

は、従来例の素子より静電耐圧を高くできるが、実施例 1 及び実施例 6 の素子と比較して静電耐圧は低いものである。このことから、実施例 6 のアンドープの下層 5 a は静電耐圧を向上させる効果があることがわかる。また、実施例 1 の LED 素子の静電耐圧は、実施例 7 の LED 素子の静電耐圧より高いことから、実施例 1 のアンドープの GaN 層 5 も静電耐圧を向上させる効果があることがわかる。

【0090】[実施例 8] 実施例 6 において、アンドープ $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ からなる下層 5 a を 2000 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加し Si を $6 \times 10^{18}/cm^3$ ドープした GaN からなる中間層 5 b を 300 オングストロームの膜厚で成長させ、更に続いてシランガスのみを止め、同温度にてアンドープ $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ からなる上層 5 c を 50 オングストロームの膜厚で成長させ、3 層からなる総膜厚 2350 オングストロームの第 2 多層膜層 5 を成長させる他は、実施例 6 と同様に作製した。以上のように作製した LED 素子は、実施例 6 とほぼ同様の発光出力、Vf 及び静電耐圧を示した。

【0091】[実施例 9] 実施例 6 において、アンドープ $In_{0.03}Ga_{0.97}N$ からなる下層 5 a を 2000 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加し Si を $6 \times 10^{18}/cm^3$ ドープした GaN からなる中間層 5 b を 300 オングストロームの膜厚で成長させ、更に続いてシランガスのみを止め、同温度にてアンドープ $In_{0.03}Ga_{0.97}N$ からなる上層 5 c を 50 オングストロームの膜厚で成長させ、3 層からなる総膜厚 2350 オングストロームの第 2 多層膜層 5 を成長させる他は、実施例 6 と同様に作製した。以上のように作製した LED 素子は、実施例 6 とほぼ同様の発光出力、Vf 及び静電耐圧を示した。

【0092】[実施例 10] 実施例 6 において、Si ドープ GaN からなる 5 b を 1000 オングストロームで成長させる他は、実施例 6 と同様にして LED 素子を作製した。このようにして得られた LED 素子は、実施例 6 と同等の Vf を示し、静電耐圧は実施例 6 の 1.2 倍であった。しかしながら、発光出力は実施例 6 の LED 素子に比較して 70% であった。

【0093】[実施例 11] Si ドープ GaN からなる 5 b 層を 100 オングストロームで成長させる他は、実

施例 6 と同様にして作製した。得られた LED 素子は、実施例 6 とほぼ同等の Vf を示し、発光出力は実施例 6 の LED 素子に比較して 1.1 倍程度であった。しかしながら、静電耐圧は実施例 6 に比較して低いものであった。

【0094】[実施例 12] アンドープ GaN からなる 5 c 層を 200 オングストロームで成長させる他は、実施例 6 と同様にして LED 素子を作製した。得られた LED 素子は、実施例 6 と同様の発光出力を示し、Vf は実施例 6 の LED 素子に比較して高くなり、静電耐圧は実施例 6 の LED 素子に比較して低いものであった。

【0095】[実施例 13] 実施例 6 において、n 型多層膜層 6 の、第 2 と第 1 の窒化物半導体層を 20 層ずつ積層し成長させる他は、実施例 6 と同様にして LED 素子を作製した。このようにして作製された実施例 13 の LED 素子は、実施例 6 の LED 素子と同等の発光出力を示し、実施例 6 の LED 素子に比較して Vf は 20% 程度低くすることができた。しかしながら、静電耐圧は実施例 6 の素子に比較して低下していた。

【0096】

【発明の効果】本発明は、素子の信頼性を向上させ、種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とするため、発光出力のさらなる向上が可能となり、Vf の低い静電耐圧の良好となる窒化物半導体素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の一実施の形態である LED 素子の構造を示す模式的断面図である。

【符号の説明】

- 1・・・サファイア基板、
- 2・・・バッファ層、
- 3・・・アンドープ GaN 層、
- 4・・・Si ドープ GaN の n 型コンタクト層、
- 5・・・アンドープ GaN 層、
- 6・・・n 型多層膜層、
- 7・・・活性層、
- 8・・・p 型多層膜層、
- 9・・・Mg ドープ GaN の p 型コンタクト層、
- 10・・・全面電極、
- 11・・・p 電極、
- 12・・・n 電極。

【図1】

